



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546211_0042

Aus dem Institut für Umwelthygiene und Präventivmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg

Vorstand: Professor Dr. med. Dr. med. dent. W. Gräf

Die Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes auf den Gehalt an 3,4-Benzpyren im städtischen Umweltstaub

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der Medizinischen Fakultät

der Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Ursula Baars geb. Colb

aus

Erlangen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten

Referent: Prof. Dr.Dr. W. Gräf

Tag der mündlichen Prüfung: 12.05.1980

I N H A L T

	Seite
1. <u>EINLEITUNG</u>	1
2. <u>METHODIK</u>	4
2.1 Gewinnung der Untersuchungsproben	4
2.2 Analytik von 3,4-Benzpyren	6
3. <u>ERGEBNISSE</u>	8
3.1 3,4-Benzpyrengelhalte des Straßenstaubs im Stadtinnengebiet	8
3.2 3,4-Benzpyrengelhalte des Straßenstaubs im Stadtaußengebiet	14
3.3 3,4-Benzpyrengelhalte des Straßenstaubs auf Parkplätzen, in innerstädtischen Grünanlagen und auf verkehrsarmen Landstraßen	16
3.4 Veränderung des 3,4-Benzpyrengelhaltes im Straßenstaub Erlangens zwischen den Jahren 1971 und 1977	19
4. <u>DISKUSSION</u>	22
5. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	27
6. <u>LITERATUR</u>	29

1. E I N L E I T U N G

Die Immissionsbelastung der Großstadtbevölkerung durch den stetig ansteigenden Straßenverkehr und der damit verbundenen Zunahme der Abgasstoffe ist in umwelt- und städtehygienischer Hinsicht ein schwerwiegendes Problem. Dabei stellen neben den Schadstoffen Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickoxiden und unverbrannten Kohlenwasserstoffen das Blei bzw. seine Oxide (Lehnert et al.; Schubert u. Sangl; Haas, Mache, Schaller, Mache u. Valentin) sowie die kanzerogenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (Knorr), darunter als Leitsubstanz das 3,4-Benzpyren (Benzo(a)pyren) die Hauptrisikofaktoren für die Stadtbevölkerung dar.

Bezüglich der verkehrsbedingten Bleibelastung hat der Gesetzgeber bereits regulierend eingegriffen durch das Benzin-Blei-Gesetz vom 5.8.1971, wonach der Bleigehalt von Ottomotorkraftstoffen ab 1.1.1972 auf 0,4 g/l und ab 1.1.1976 auf 0,15 g/l zu reduzieren war.

Dagegen sind hinsichtlich der Belastung mit 3,4-Benzpyren und seinen Homologen aus technischen Gründen reduzierende Auflagen bei Verbrennungsmotorabgasen bisher nicht möglich gewesen. Damit besteht ein ernster umwelt-hygienischer Risikofaktor, weil gerade Benzinmotorabgase im Vergleich zu anderen Verbrennungsrückständen erhebliche Mengen dieser kanzerogenen Substanzen enthalten.

Gräf u. Dornauer konnten bei Untersuchungen an Rußarten verschiedener Herkunft nachweisen, daß, abgesehen von Kohleruß, die Ruße von Ottomotoren gegenüber Koksruß, Oelfeuerungsruß und Dieselmotorenruß mit bis zu 180 µg/g die höchsten Konzentrationen an 3,4-Benzpyren aufwiesen.

Experimentelle Untersuchungen in vitro lassen befürchten, daß die Kombination dieser kanzerogenen Stoffe mit Blei bei der guten Lungengängigkeit der Autoabgas-aerosole eine Krebsförderung im Sinne der Synkanzerogenese bewirkt. Bruch, Brockhaus und Dehnen konnten an isolierten Makrophagen zeigen, daß das Blei als Fermentgift deren benzpyrenhydroxylierende Aktivität weitgehend zum Erliegen brachte.

Unter diesen Gesichtspunkten kommt den beiden Umweltschadstoffen Blei und 3,4-Benzpyren im städtischen Umweltstaub eine besondere Bedeutung zu. Wir haben daher im Zentrum und in den Außengebieten der Stadt Erlangen den Straßenstaub unterschiedlich stark belasteter Verkehrswege sowie verkehrsfreier Zonen auf seinen Gehalt an Blei und 3,4-Benzpyren untersucht. Der zur Untersuchung gelangende "Straßenstaub" war der am Straßenrand angesammelte Staub, der durch Siebung auf genormte Korngrößen (25 µm) gebracht wurde. Aus wohlüberlegten Gründen wurde typischer Sedimentstaub mit zeitlicher und flächenbezogener Normierung oder typischer Schwebestaub nicht für die Untersuchungen verwendet, da Umfang und Dichte unseres Untersuchungsnetzes ein derartiges Vorgehen praktisch unmöglich gemacht hätten. Da dieser "Straßenstaub" in seiner typischen Zusammensetzung (also mit Korngrößen zwischen ca. 10 µm und 25 µm, kleinere Korngrößen

zählen zum Schwebestaub) nicht direkt eingeatmet wird - wie dies für Schwebestaub zuträfe -, stellt der von uns untersuchte Staub demgemäß kein unmittelbares Gesundheitsrisiko für die Stadtbewohner dar, kann aber zweifelsfrei als Indikator einer längerfristigen verkehrsbedingten Immissionsbelastung dienen.

Die erste Untersuchungsreihe wurde von Mai bis September 1971 durchgeführt, also vor Inkrafttreten des Benzin-Blei-Gesetzes, als noch große Anteile der Kraftstoffe Bleigehalte von 0,8 bis 1,0 g/l enthielten. Sechs Jahre später (Juni bis September 1977), als die gesetzliche Limitierung des Bleigehaltes im Ottomotorkraftstoff auf 0,15 g/l schon 1 1/2 Jahre bestand, wurde Straßenstaub von den gleichen Entnahmestellen erneut auf seinen Blei- bzw. 3,4-Benzpyrengehalt untersucht.

Die Bestimmung der Blei- und 3,4-Benzpyrenrelationen im gewonnenen Staub erschien uns auch deshalb außerordentlich wichtig, da mit der Möglichkeit gerechnet werden mußte, daß den Kraftstoffen zur Erhaltung der Klopfestigkeit andere Substanzen, wie z.B. Benzol, zugesetzt wurden und dies eine erhöhte Emission von kanzerogenen polyzyklischen Aromaten zur Folge haben könnte. Das Ergebnis wäre dann zwar eine geringere Blei-, dafür aber eine erhöhte Kanzerogenbelastung der Umwelt durch den Straßenverkehr gewesen.

Nachfolgende Untersuchungen hatten zum Ziel, den 3,4-Benzpyrengehalt unter den obengenannten Gesichtspunkten zu ermitteln. Die Bestimmung des Bleigehaltes im gleichen Untersuchungsgut wurde von S. Grote durchgeführt.

2. M E T H O D I K

2.1 Gewinnung der Untersuchungsproben

Die meisten Staubproben wurden an Straßenbordsteinen entnommen, einige auch im Bereich von Grünanlagen und auf Parkplätzen. Mit Hilfe von Haarpinsel und Kehrschaufel wurden die Proben gesammelt und zum Entfernen von größeren, störenden Partikeln grob gesiebt. Der gewonnene Straßenstaub wurde in mit Korkstopfen verschlossenen Glasgefäßen dunkel und trocken bei Zimmertemperatur aufbewahrt und vor der analytischen Aufarbeitung mit genormten Prüfsieben von der Maschenweite 25 μ m gemäß DIN 4188 mittels Magnetvibrator auf die Normgröße von max. 25 μ m gebracht.

Der Entnahmebereich Erlangen ließ sich hinsichtlich der Verkehrsdichte und des Siedlungscharakters einteilen in:

- 1) durch das Stadtzentrum führende Hauptverkehrsader (s. Abb.1 und Abb.2)
- 2) übriges Stadtinnengebiet (s. Abb.2)
- 3) Wohngebiete, Kreuzungen und Einmündungen des Stadtaußengebietes (s. Abb.1)
- 4) unbebaute Straßen (Landstraßen) (s. Abb.1)
- 5) verkehrsfreie Entnahmestellen im Stadtinnengebiet (s. Abb.2)

Hinsichtlich der Jahreszeit und Witterungslage wurde insofern auf gleiche Untersuchungsbedingungen geachtet, als die Probenentnahmen im Zeitraum Juni bis September durchgeführt wurden, da entsprechend früherer Untersuchungen (Gräf u. Dornauer) zu dieser Zeit der durch Heizfeuerung bedingte Gehalt an 3,4-Benzpyren in der Stadtluft außerordentlich niedrig ist und somit das im Straßenstaub nachgewiesene 3,4-Benzpyren praktisch ausschließlich vom Straßenverkehr herrührt.

Vorausgegangene Untersuchungen bezüglich des Bleigehaltes von Staubproben (Übelmesser) hatten gezeigt, daß die Konzentration dieses Schadstoffes im Straßenstaub großen witterungsbedingten Schwankungen unterworfen ist. Deshalb wurden die jetzigen Staubproben grundsätzlich bei trockener Witterung gesammelt. Wie die obengenannten Untersuchungen erwiesen hatten, bewirkt nasse Witterung niedrigere, trockene Witterung höhere Bleikonzentrationen im Straßenstaub. Es zeigte sich außerdem, daß sich der Bleigehalt bereits nach 2 bis 3 regenfreien Tagen auf den Durchschnittswert der jeweiligen Entnahmestelle einpegelt. Aus diesem Grunde wurde bei den jetzigen Probenentnahmen eine vorausgehende Trockenperiode von mindestens 2 Tagen eingehalten.

2.2 Analytik von 3,4-Benzpyren

In früheren Arbeiten von Gräf u. Diehl; Gräf; Gräf, Eff u. Schormair wurden bereits detaillierte Beschreibungen für den Nachweis von 3,4-Benzpyren in pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organ Geweben gegeben.

Das Prinzip bestand in einer ca. 12-stündigen Trockensubstanzextraktion mittels reinstem Benzol, nachfolgender säulenchromatographischer Fraktionierung des eingeeengten Benzolextraktes mit Al_2O_3 Woelm neutral, Aktivität 1, und schließlich papierchromatographischer Trennung der einzelnen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (= PAK) auf acetyliertem Chromatographiepapier.

Zur Staubuntersuchung wurde nun eine vereinfachte, außerordentlich leicht praktikable Methodik entwickelt, die mit relativ geringem Zeit- und Materialaufwand äußerst genaue, bestens reproduzierbare Resultate liefert:

Es wird 1 g des feingesiebten Staubes drei Stunden lang mittels Methanol im Soxhlet-Apparat extrahiert. Dieser Methanolextrakt wird zur Trockne eingeeengt, mit einigen Milliliter Benzol aufgenommen und auf acetyliertem Chromatographiepapier (Fa. Macherey, Nagel & Co., Nr. 214 AC-20 %) punktförmig auf den linken Papierrand aufgetragen. Unter Verwendung eines Fließmittelgemisches von Äther, Methanol und Wasser im Verhältnis 4 : 4 : 1 wird zunächst in einer Richtung chromatographiert.

Da eine Trennung der PAK damit noch nicht zu erreichen ist, wird sodann oberhalb des Startpunktes ein etwa 18 cm langes Teil des Chromatogrammes abgeschnitten, um 90° gedreht und mit dem gleichen Fließmittelgemisch nochmals chromatographiert. Durch diese einfache zweidimensionale Papierchromatographie gelingt es bei Staubproben grundsätzlich, eine gute Trennung des 3,4-Benzpyrens von Verunreinigungen und den übrigen PAK zu erzielen, so daß sich eine vorausgehende Säulenchromatographie erübrigt.

Der 3,4-Benzpyrenfleck wird sodann unter der UV-Lampe markiert, ausgeschnitten und die zerkleinerten Papierstücke mit geringer Menge heißem Benzol quantitativ extrahiert. Die vereinigten Eluate (1 ml) werden spektralphotometrisch im Bereich der Wellenlänge 400 bis 350 nm analysiert (selbstregistrierendes Spektralphotometer, Modell DK 2, Firma Beckmann), und über die charakteristische Absorptionskurve eine Identifizierung sowie gleichzeitig durch Ausmessung des Extinktionsmaximums bei 388 nm eine quantitative Bestimmung des 3,4-Benzpyrens vorgenommen. Die gefundenen 3,4-Benzpyrenwerte werden zum Ausgleich von Extraktions- bzw. Chromatographieverlusten mit einem vorher experimentell ermittelten Korrekturfaktor von 1,33 multipliziert.

3. ERGEBNISSE

Entsprechend der beschriebenen Entnahmetechnik wurden vom gesamten Stadtgebiet Erlangens am Straßenrand die Untersuchungsproben entnommen. Die Abbildungen 1 und 2 geben in schematisierter Form die Lagebeziehungen der gewählten Entnahmestellen wieder. Soweit die Untersuchungspunkte im Bereich von Straßenkreuzungen eingetragen sind, ist zu vermerken, daß grundsätzlich die in den Tabellen jeweils an erster Stelle angegebenen Straßen als Meßort anzusehen sind, da die Staubproben stets ca. 20 m vor den Kreuzungspunkten gewonnen wurden. Die vermerkten Straßeneinmündungen dienen demnach nur zur Lokalisierung der Entnahmestellen und die entsprechenden Meßwerte geben nicht den Schadstoffpegel in den Kreuzungen selbst wieder. Meßpunkte, die direkt in Kreuzungen liegen, werden jeweils unter der Bezeichnungplatz angegeben.

3.1 3,4-Benzpyrengehalt des Straßenstaubs im Stadtinnengebiet

Aufgrund der für Erlangen spezifischen Verkehrssituation, die charakterisiert ist durch eine das Stadtzentrum durchziehende Hauptverkehrsader und eine Vielzahl schachbrettartig angeordneter Verkehrswege im übrigen Stadtinnengebiet, gliederten wir den Untersuchungsbezirk des Stadtkerns in die Bereiche "Hauptverkehrsader" und "übriges Stadtinnengebiet".

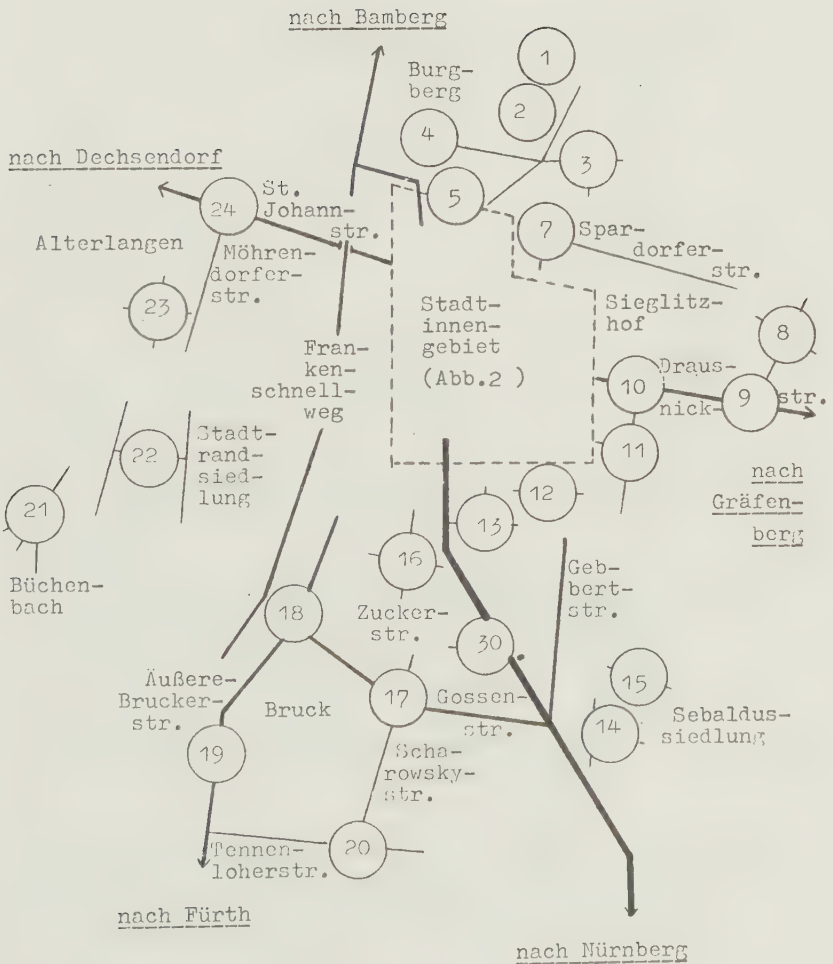


Abb.1 Stadtaußengebiet

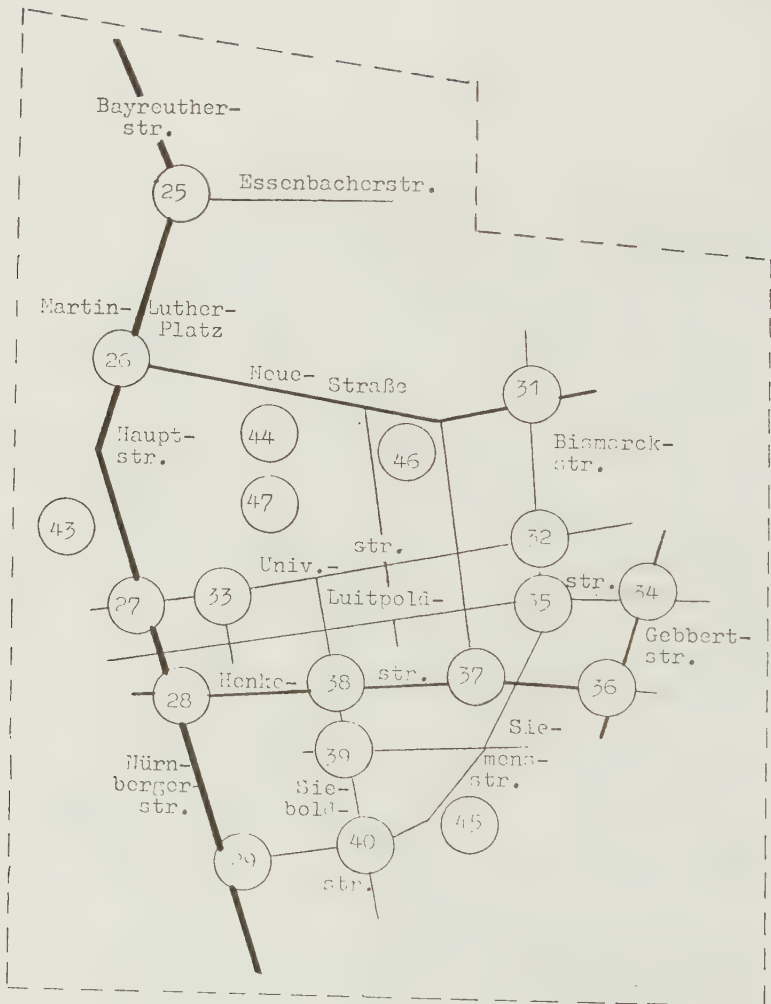


Abb.2 Stadtinnengebiet

Die in den Untersuchungsjahren 1971 und vergleichsweise 1977 an identischen Entnahmepunkten ermittelten 3,4-Benzpyrenkonzentrationen sind in den Tabellen 1 und 2 wiedergegeben.

Aus Tab. 1 ist ersichtlich, daß im Jahre 1971 die 3,4-Benzpyrenwerte längs der Hauptverkehrsader stärkere Schwankungen aufweisen. Mit im Mittel $1,3 \mu\text{g/g}$ Staub zeigen sich hier - wie auch im übrigen Stadtinnengebiet - die höchsten 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Straßenstaub.

Sehr interessant sind zum Vergleich die im Jahr 1977 gewonnenen Meßwerte. In diesem Jahr ist nämlich gegenüber dem Jahr 1971 bei einem Mittelwert von $0,5 \mu\text{g}$ 3,4-Benzpyren/g Staub eine Verminderung dieses Schadstoffes um mehr als die Hälfte zu verzeichnen.

Die entsprechenden Werte im übrigen Stadtinnengebiet lassen die gleichen Verhältnisse erkennen und zeigen bezüglich der Mittelwerte keinen Unterschied zur Hauptverkehrsader. Auch im übrigen Stadtinnengebiet belaufen sich also die durchschnittlichen 3,4-Benzpyrenkonzentrationen auf $1,3 \mu\text{g/g}$ Staub für das Jahr 1971 und $0,5 \mu\text{g/g}$ Staub im Jahre 1977.

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß auch die Mittelwerte für das gesamte Stadtinnengebiet (Hauptverkehrsader und übriges Stadtinnengebiet) für das Jahr 1971 $1,3 \mu\text{g}$ 3,4-Benzpyren/g Staub und für 1977 $0,5 \mu\text{g/g}$ Staub betragen.

Damit ergibt sich für das gesamte Stadtinnengebiet in diesem Zeitraum eindeutig eine Verminderung der 3,4-Benzpyrenkonzentrationen um etwa die Hälfte.

Tabelle 1

Werte an der Hauptverkehrsader

Nr.	Ort	3,4 Benzpyren $\mu\text{g/g}$ Staub	
		1971	1977
25	Haupt/Essenbacher	0,7	0,3
26	Martin-Luther-Platz	1,2	0,4
27	Hugenottenplatz	1,0	0,3
28	Nürnberg/Henke	0,9	0,6
29	Nürnberg/Siemens	2,7	0,7
30	Nürnberg/Rathenau	1,2	0,7
Mittelwert		1,3	0,5

Tabelle 2

Werte im übrigen Stadtinnengebiet

Nr.	Ort	3,4-Benzpyren $\mu\text{g/g}$ Staub	
		1971	1977
31	Bismarck/Hindenburg	1,2	0,7
32	Lorlebergplatz	1,5	0,7
33	Universitäts/Schuh	1,8	0,1
34	Luitpold/Gebbert	1,9	0,7
35	Luitpold/Bismarck	0,9	0,6
36	Gebbert/Henke	0,7	0,3
37	Henke/Wald	1,4	0,3
38	Henke/Fahr	1,4	0,4
39	Siebold/Hofmann	-	0,4
40	Siemens/Zeppelin	0,7	1,0
Mittelwert		1,3	0,5

3.2 3,4-Benzpyrengehalt des Straßenstaubs im Stadtaußen- gebiet

Entsprechend der Lageskizze in Abb.1 wurden für das Stadtaußengebiet (ausgenommen die auch in diesem Bereich verlaufende Hauptverkehrsader) an 23 ausgewählten Entnahmepunkten Straßenstaubproben auf ihren 3,4-Benzpyrengehalt untersucht. Die dabei gefundenen Werte sind für die Jahre 1971 und 1977 in Tab.3 niedergelegt.

Entsprechend der naturgemäß heterogenen Verkehrssituation des Stadtaußengebietes weisen auch hier die jeweiligen 3,4-Benzpyrenwerte eine größere Schwankungsbreite auf. Bei Betrachtung der jeweiligen Mittelwerte lassen sich jedoch zweifelsfrei für das gesamte Stadtaußengebiet gültige Schlüsse ableiten.

Zwischen den Jahren 1971 und 1977 bestehen nur geringfügige Unterschiede bezüglich der 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Straßenstaub des Stadtaußengebietes. So sank hier der 3,4-Benzpyrengehalt im Mittel lediglich von 0,6 $\mu\text{g/g}$ Staub auf 0,4 $\mu\text{g/g}$ Staub.

Vergleicht man jedoch das Stadtaußengebiet mit dem Stadtinnengebiet, so fällt auf, daß der Mittelwert des Jahres 1971 im Stadtaußengebiet mit 0,6 $\mu\text{g/g}$ Staub immerhin noch die Hälfte desjenigen des gesamten Stadtinnengebietes (1,3 $\mu\text{g/g}$ Staub) beträgt, während 1977 bei den jeweiligen Durchschnittswerten von 0,4 μg 3,4-Benzpyren/g Staub im Stadtaußengebiet gegenüber 0,5 $\mu\text{g/g}$ Staub im gesamten Stadtinnengebiet kein signifikanter Unterschied mehr zu erkennen ist.

Tabelle 3

Werte im Stadtaußengebiet

Nr.	Ort	3,4-Benzpyren µg/g Staub	
		1971	1977
1	Wohnstift Rathsberg	0,2	0,04
2	Marienkrankenhaus	0,4	0,2
3	Atzelsberger/Meilwald	0,4	0,08
4	Burgberg	0,7	0,2
5	An den Kellern	0,1	0,1
7	Spardorfer/Palm	0,5	0,6
8	Lange Zeile/Sieglitzhofer	0,1	0,3
9	Drausnick/Exerzier	-	0,5
10	Luitpold/Hartmann	1,4	0,4
11	Hartmann/Mozart	0,8	0,5
12	Bruckner/Pfälzer	0,5	0,9
13	Brahms/Schubert	1,4	0,7
14	Stettiner/Liegnitzer	0,6	0,8
15	Wacholder/Ginster	0,3	0,4
16	Zucker/Hilpert	1,3	0,8
17	Scharowsky/Gossen	0,7	0,4
18	Gossen/Äußere Brucker	0,7	0,2
19	St. Peter u. Paul	1,8	0,3
20	Tennenloher/Bunsen	0,6	0,4
21	Nein/Dorf	0,2	0,2
22	Damaschke/Vischer	0,4	0,8
23	Falken/Hänfling	0,4	0,2
24	St. Johann/Möhrendorfer	0,6	0,1
Mittelwert		0,6	0,4

3.3 3,4-Benzpyrengehalte des Straßenstaubs auf Parkplätzen, in innerstädtischen Grünanlagen und auf verkehrsarmen Landstraßen

In unsere Untersuchungen wurden auch einige Entnahmestellen in verkehrsfreien bzw. verkehrsarmen Bezirken mit einbezogen aufgrund der Fragestellung, in welchem Maße derartige Bereiche einer 3,4-Benzpyrenbelastung ausgesetzt sind und ob das Benzin-Blei-Gesetz Auswirkungen auf deren 3,4-Benzpyrenpegel zeige. Die entsprechenden Meßergebnisse sind in den Tabellen 4, 5 und 6 zu finden.

Daraus geht hervor, daß Parkplätze hinsichtlich der 3,4-Benzpyrenbelastung erstaunlich günstig abschneiden. Mit den Mittelwerten von 0,2 µg/g Staub für 1971 und 0,3 µg/g Staub für 1977 weisen sie von allen untersuchten Verkehrsflächen mit die niedrigsten Konzentrationen dieser Schadstoffe im Staub auf.

Auch bei den Entnahmestellen in den beiden untersuchten Grünanlagen liegen ähnliche Verhältnisse vor, d.h. niedrige 3,4-Benzpyrenwerte in beiden Untersuchungsjahren, wobei sowohl der Einzelwert im Jahr 1971 als auch der Mittelwert im Jahr 1977 0,3 µg 3,4-Benzpyren pro g Staub beträgt.

Auf den verkehrsarmen Landstraßen weist der Straßenstaub die niedrigsten 3,4-Benzpyrenkonzentrationen aller untersuchten Verkehrsflächen auf. Der Mittelwert für 1977 beträgt hier 0,1 µg/g Staub. Damit sind verkehrsarme Landstraßen hinsichtlich ihrer Schadstoffbelastung mit 3,4-Benzpyren den innerstädtischen Grünanlagen gleichzusetzen.

Tabelle 4

Werte auf Parkplätzen

Nr.	Ort	3,4-Benzpyren $\mu\text{g/g}$ Staub	
		1971	1977
43	Schloßplatz	0,3	0,2
44	Theaterplatz	0,3	0,1
45	Siemensparkplatz	0,1	0,5
Mittelwert		0,2	0,3

Tabelle 5

Werte in innerstädtischen Grünanlagen

Nr.	Ort	3,4-Benzpyren $\mu\text{g/g}$ Staub	
		1971	1977
46	Maximiliansplatz	-	0,4
47	Schloßgarten	0,3	0,1
Mittelwert		-	0,3

Tabelle 6

Werte auf verkehrsarmen Landstraßen

Nr.	Ort	3,4-Benzpyren $\mu\text{g/g}$ Staub	
		1971	1977
41	Uttenreuth/Marloffstein	-	0,1
42	Uttenreuth/Erlangen	-	0,1
Mittelwert		-	0,1

3.4 Veränderung des 3,4-Benzpyren-Gehaltes im Straßenstaub Erlangens zwischen den Jahren 1971 und 1977.

Zur Ermittlung der globalen Auswirkung des Benzin-Blei-Gesetzes unterzogen wir die 3,4-Benzpyrenwerte des Straßenstaubs aller 46 Meßpunkte im gesamten Stadtbereich Erlangens einer zusammenfassenden Wertung. Dabei ergaben sich für die beiden Untersuchungsjahre folgende Mittelwerte:

1971: 0,8 μg 3,4-Benzpyren/g Staub

1977: 0,4 μg 3,4-Benzpyren/g Staub

Dies bedeutet, daß sich der 3,4-Benzpyrengehalt im Straßenstaub nach vollständigem Inkrafttreten des Benzin-Blei-Gesetzes um 50 % verringerte.

Allerdings ist bei diesen Globalwerten auf die unterschiedlichen Reduktionsquoten im Stadtinnengebiet und Stadtaußengebiet bzw. in verkehrsarmen Zonen hinzuweisen. Zur Veranschaulichung der an den jeweiligen Meßpunkten in den Jahren 1971 und 1977 aufgetretenen Verschiebungen der 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Straßenstaub legten wir die 3,4-Benzpyrenwerte in der Abb.3 in einem Diagramm fest.

Dabei ist die Lage eines Meßpunktes im Korrelationsdiagramm determiniert durch Abtragen der Werte von 1971 auf der Abszisse und der Werte von 1977 auf der Ordinate.

In den Fällen, in denen die Meßwerte für beide Jahre gleichgeblieben waren, müssen die Punkte längs der 45°-Geraden liegen. Alle Werte, die im Jahr 1977 eine Verminderung erfuhren, liegen entsprechend weit unter der 45°-Geraden, alle Werte, die im Jahr 1977 höher waren, liegen oberhalb dieser Geraden.

Das Diagramm veranschaulicht überzeugend, daß bei der Mehrzahl aller Meßstellen eine eindeutige Verringerung des Schadstoffes 3,4-Benzpyren im Straßenstaub zu verzeichnen ist, während sich nur an wenigen Meßpunkten ein Gleichbleiben oder eine Erhöhung der Werte zeigt.

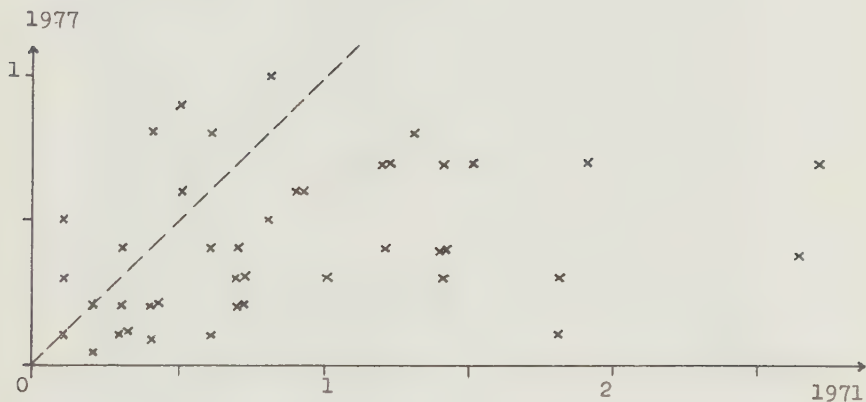


Abb. 3: Korrelationsdiagramm aller 3,4-Benzpyrenwerte (in $\mu\text{g/g}$ Staub) der jeweiligen Meßpunkte für die Jahre 1971 (Abszisse) und 1977 (Ordinate).

Lage der Punkte in der 45° -Geraden bedeutet unveränderte, oberhalb dieser Geraden erhöhte und unterhalb der Geraden verminderte 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Jahr 1977.

4. DISKUSSION

Die vorliegenden Untersuchungen zielten darauf ab, den Pegel des verkehrsbedingten Umweltschadstoffes 3,4-Benzpyren im gesamten Bereich einer mittelgroßen Stadt mit erheblichem Verkehrsaufkommen zu ermitteln. Dabei stand im Vordergrund die Frage, ob die Reduktion des Bleis in Kraftstoffen von ca. 1,0 bis 0,8 g/l im Jahr 1971 auf 0,15 g/l im Jahr 1977 durch das Benzin-Blei-Gesetz vom 5.8.1971 Auswirkungen auf den Pegel von kanzerogenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im städtischen Umweltstaub habe. Das 3,4-Benzpyren wurde nicht nur als Leitsubstanz der obenerwähnten Kohlenwasserstoffe gewählt, sondern auch weil begründeter Verdacht auf eine synkanzerogene Wirkungsweise von Blei und 3,4-Benzpyren gegeben ist (Bruch, Brockhaus u. Lehnert: Schlicköster). Die Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes auf den Bleipegel im Umweltstaub wurde in demselben Untersuchungsgut von S. Grote ermittelt.

Zur Erzielung möglichst vieler, über das gesamte Straßennetz Erlangens sich verteilender Meßwerte wählten wir in Abweichung von den lufthygienisch üblichen Parametern "Schwebestaub" bzw. "Sedimentstaub" als Untersuchungsmaterial Straßenstaub, da dieser innerhalb einer vertretbar kurzen Zeitspanne von den zahlreichen Meßpunkten zu erhalten war. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß solche von Bordsteinen und Straßenflächen gewonnenen Staubproben nach entsprechender Korngrößennormierung mit Hilfe von Feinsieben (max. Korngröße 25 µm) relativ aussagekräftige Meßergebnisse liefern.

Außerdem wurde der 3,4-Benzpyrengehalt im Straßenstaub während der heizungsfreien Jahreszeit (Juni bis September) untersucht, um die durch Hausfeuerungsanlagen bedingten Interferenzen zu vermeiden. Bekannterweise sinkt in dieser Zeit der 3,4-Benzpyrenpegel in der Stadtluft auf ein vernachlässigbares Minimum (Hettche, Gräf). Unter diesen Gesichtspunkten kann man davon ausgehen, daß der 3,4-Benzpyrengehalt unserer Staubproben praktisch ausschließlich verkehrsbedingt ist.

Die gefundenen Ergebnisse sind außerordentlich interessant und vermitteln eindrucksvolle Vorstellungen über die Beeinträchtigung der Stadtbevölkerung durch den Schadstoff 3,4-Benzpyren in den unterschiedlich verkehrsbelasteten Stadtteilen.

Die Untersuchungsergebnisse von S. Grote bestätigen unsere Vermutung, daß die Reduzierung des Benzinbleigehaltes auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes eine Verringerung der Bleikonzentrationen im Straßenstaub zur Folge haben würde. Erstaunlich ist jedoch die Tatsache, daß nach Inkrafttreten des Benzin-Blei-Gesetzes auch die 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Straßenstaub ganz erheblich, nämlich um mehr als die Hälfte, abgenommen haben.

So bleibt eigentlich nur die Annahme, daß durch Verwendung bleiarmer Kraftstoffe die verkehrsbedingte Emission an kanzerogenen polyzyklischen Aromaten eine deutliche Verminderung erfahren hat.

Die Annahme, daß mit Reduzierung des Bleigehaltes in den Kraftstoffen die Emission von kanzerogenen polyzyklischen Aromaten, speziell 3,4-Benzpyren, verringert werde, konnten tatsächlich Candeli et al. bei Versuchen mit Modellbenzinen bestätigen. Sie fanden, daß nur in Gegenwart von Bleitetraaethyl ein steigender Aromatengehalt im Benzin die Emission von Polyzyklen erhöht.

Im übrigen stehen unsere Ergebnisse bezüglich der 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Straßenstaub in völligem Einklang mit den Befunden von Seifert u. Ullrich, die an einer Straßenkreuzung in Berlin unter anderen Luftschadstoffen auch den Blei- und 3,4-Benzpyrengesamtgehalt im Schwebestaub gemessen hatten. Auch hier zeigte sich, daß im Vergleich zu Messungen während der 1. Stufe des Benzin-Blei-Gesetzes (Ende 1975) nach Inkrafttreten der 2. Stufe (1976) sowohl der Bleigehalt als auch der Gehalt an 3,4-Benzpyren in der Luft dieser Straßenkreuzung erheblich zurückgegangen waren.

Überraschend sind die Meßergebnisse im verkehrsärmeren Stadtaußengebiet bzw. auf den Parkplätzen und in innerstädtischen Grünanlagen. In den genannten Bereichen ist im Jahr 1977 der 3,4-Benzpyrenpegel im Straßenstaub gegenüber dem Jahr 1971 nur geringfügig bzw. gar nicht vermindert.

Hinsichtlich der verkehrsärmeren Stadtgebiete ergibt sich also die erstaunliche Situation, daß in diesem Bereich das Benzin-Blei-Gesetz keine erhebliche Verbesserung bewirkt hat.

Bei den in geringerer Anzahl vorhandenen Meßpunkten auf Parkplätzen und in innerstädtischen Grünanlagen ist keine Veränderung der 3,4-Benzpyrenwerte zwischen den Jahren 1971 und 1977 feststellbar.

Die Meßstellen auf verkehrsarmen Landstraßen, für die keine Vergleichswerte aus dem Jahr 1971 vorliegen, zeigen im Jahr 1977 die niedrigsten 3,4-Benzpyrenkonzentrationen im Straßenstaub des gesamten Untersuchungsgutes.

Als Erklärung, weshalb gerade im verkehrsarmen Stadtaußenbereich trotz des Benzin-Blei-Gesetzes und der deutlichen Reduzierung des Schadstoffpegels im Stadtinnengebiet keine erhebliche Abnahme der 3,4-Benzpyrenkonzentrationen zu verzeichnen ist, bietet sich allenfalls die Vorstellung an, daß in den verkehrssperipheren Gebieten der ohnedies niedrigere Pegel dieser Schadstoffe auf kurzzeitige lokale Immissionsbelastungen kaum anspricht. Im anderen Falle bliebe als Begründung nur ein gegenüber dem Stadtzentrum erheblich vergrößertes Verkehrsaufkommen im Jahre 1977.

Zusammenfassend darf an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden, daß der für die Untersuchung gewählte Straßenstaub normalerweise nicht direkt eingeatmet wird, wie dies z.B. für Schwebestaub zuträfe. Daher stellen unsere Meßwerte hinsichtlich des Schadstoffes 3,4-Benzpyren sicherlich keinen Maßstab für die unmittelbare Gefährdung der Stadtbewohner dar, wie es für die

vielfältigen Untersuchungen über den Schadstoffgehalt der Luft (Schwebestaub und Gase) oder den Schadstoffpegel im menschlichen Organismus, wie z.B. den 3,4-Benzpyrengehalt in Organgeweben von Mensch und Tier (Gräf), zutrifft.

Zur Verdeutlichung der mittelbaren Gefährdung unserer Stadtbevölkerung durch die verkehrsbedingte 3,4-Benzpyrenbelastung scheint uns aber das vorliegende Untersuchungsmaterial durchaus geeignet.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Erfassung der mittelbaren verkehrsbedingten Schadstoffbelastung der Bevölkerung einer mittelgroßen Stadt mit erheblichem Verkehrsaufkommen (Erlangen, Bayern) wurde der 3,4-Benzpyrengehalt im Straßenstaub an insgesamt 46 Meßstellen mit unterschiedlicher Verkehrsdichte bestimmt. Um die Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes vom 5.8.71 auf die 3,4-Benzpyrenbelastung zu erfassen, wurden die Messungen sowohl im Jahr 1971, also vor Inkrafttreten dieses Gesetzes, als auch 1977, nach der endgültigen Limitierung des Benzinbleigehaltes auf 0,15 g/l, durchgeführt. Dabei wurden folgende Ergebnisse gefunden:

- Im stark verkehrsbelasteten Stadtinnengebiet sank die mittlere 3,4-Benzpyrenkonzentration von 1,3 µg/g Staub auf 0,5 µg/g Staub. Das bedeutet eine Verminderung des 3,4-Benzpyrengehaltes im Straßenstaub um etwa die Hälfte.
- Im verkehrsärmeren Stadtaußengebiet war im Jahr 1971 die 3,4-Benzpyrenmenge im Straßenstaub von vornherein um etwa die Hälfte niedriger als im Stadtinnengebiet. Die Konzentration sank von 1971 bis 1977 von 0,6 µg/g Staub auf 0,4 µg/g Staub. Damit waren in den verkehrsärmeren Bezirken die für das Stadtinnengebiet gefundenen positiven Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes nur andeutungsweise vorhanden.

- Auffälligerweise geht die Abnahme des Bleigehaltes mit einer Verringerung der 3,4-Benzpyrenkonzentration einher, was nur mit einer geringeren Emission dieses Schadstoffes bei Verwendung bleiarmer Kraftstoffe erklärbar ist.

6. L I T E R A T U R

Benzin-Blei-Gesetz

Gesetz zur Verminderung der Luftverunreinigung durch Bleiverbindungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotoren (Benzin-Blei-Gesetz) vom 5. August 1971 (BGBl. I S. 1234)

Bruch, J., A. Brockhaus u. W. Dehnen:

Elektronenmikroskopische Beobachtungen an Rattenlungen nach Exposition mit partikelförmigem Blei

Proc. Int. Symp. Environm. Health (1972): 221

Candeli, A., V. Mastrandrea, G. Morozzi u. S.

Toccazeli:

Carcinogenic air pollutants in the exhaust from a European car operating on various fuels

Atmos. Environm. 8 (1974): 693

Dornauer, U. H.:

Gehalt an 3,4-Benzpyren in verschiedenen Rußarten

Inaug.-Diss., Erlangen (1974)

Gräf, W.: Umweltgefährdung durch kanzerogene Substanzen

Ärztl. Praxis 25 (1973): 4149

Gräf, W.: Vorkommen und Herkunft kanzerogener polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Organen von Mensch und Tier

Arch. Hyg. 153 (1969): 390

Gräf, W.: 3,4-Benzpyrengesamtgehalt in menschlichen Organen verschiedener Altersklassen

Arch. Hyg. 154 (1970): 331

Gräf, W. u. A. Diehl:

Über den naturbedingten Normalpegel
kanzerogener polyzyklischer Aromaten
und seine Ursache

Arch. Hyg. 150 (1967): 49

Gräf, W., H. Eff u. S. Schormair:

Kanzerogene polyzyklische aromatische
Kohlenwasserstoffe in menschlichen und
tierischen Organgeweben

Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B 161
(1975): 85

Grote, S.: Die Auswirkungen des Benzin-Blei-Geset-
zes auf den Gehalt an Blei im städti-
schen Umweltstaub

Inaug.-Diss., Erlangen (1980)

Haas, Th., K. Mache, K.-H. Schaller, W. Mache u.

H. Valentin:

Untersuchungen über die ökologische
Bleibelastung im Kindesalter

Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B 156
(1972): 353

Hettche, H. O.:

Vergleichende Betrachtung zur Belastung
der Luft durch Ruß und Kohlenstoffver-
bindungen in der Bundesrepublik und
anderen Ländern

Staub 23 (1963): 136

Knorr, M.: Die hygienische Bedeutung resistenter
Schadstoffe im Boden und Grundwasser

Gesundheits-Ingenieur 87 (1966): 326

Lehnert, G., H. Marstal, D. Szadkowski u. K.-H.

Schaller: Berufliche Bleibelastung durch Autoab-
gase in Großstadtstraßen

Dtsch. Med. Wschr. 95 (1970): 1097

Schlipköter, H. W.:

Luftverunreinigungen und körpereigene
Abwehr

Vortrag 37. Tagung der DGMH Berlin 1979

Seifert, B. u. D. Ullrich:

Konzentration anorganischer und organi-
scher Luftschadstoffe an einer Straßen-
kreuzung in Berlin

Staub-Reinhalt. Luft 38 (1978): 359

Übelmesser, W. J.:

Der Bleipegel im Umweltstaub der Stadt
Erlangen

Inaug.-Diss., Erlangen (1973)

Lebenslauf

Name: Ursula Baars geb. Colb

geb.: 3.5.1953 in Erlangen

Name des
Vaters: Eugen Colb, Pharmaziekaufmann

Name der
Mutter: Dr. Lotte Colb geb. Ziegler, Ärztin

Ausbildung: 1959-1963 Volksschule Erlangen
1963-1972 Marie-Therese-Gymnasium
Erlangen
1972 Abitur
1973-1980 Studium der Medizin
1980 Staatsexamen in Erlangen

